

## ===== WPI =====

TI - Superwide range wavelength dispersion compensation device in optical communication system - has WDM filter which divides signal light into two signal lights of short and long wavelength, respectively

AB - JP11284263 NOVELTY - A WDM filter (9) divides the signal light (8-2) into signal lights (10-1,10-3) of short and long wavelength, respectively. The chirped grating fibers (6-1,6-2) provide delay of preset amount to signal light (8-1) of wavelengths ( $\lambda_1 - \lambda_n$ ), and reflects them to the WDM filter (9) as signal lights (10-2,10-4). DETAILED DESCRIPTION - The signal lights (10-2,10-4) are combined and output as a wavelength multiplex signal light (8-3). The signal light is transmitted to an elongated optical fiber transmission line (4) of following stage as wavelength multiplex signal light (8-5).

- USE - In optical communication system.
- ADVANTAGE - The characteristics variation due to environmental change such as temperature, humidity etc is avoided since chirped grating fiber of preset length is used. DESCRIPTION OF DRAWING(S) - The figure shows explanatory drawing of wide range wavelength dispersion compensation device. (4) Elongated optical fiber transmission line; (6-1,6-2) Chirped grating fibers(8-1,8-2,8-3,8-5,10-1 - 10-4) Signal lights; (9) WDM filter.
- (Dwg.1/19)

PN - JP11284263 A 19991015.DW200001 H01S3/10 021pp

PR - JP19980019703 19980130

PA - (HITD ) HITACHI CABLE LTD

MC - V07-K04 V08-A03 W02-C04 W02-C04A7 W02-C04B4 W02-C04B4B W02-K04

DC - P81 V07 V08 W02

IC - G02B6/10 ;H01S3/07 ;H01S3/10 ;H04B10/02 ;H04B10/18 ;H04J14/00 ;H04J14/02

AN - 2000-005330 [01]

## ===== PAJ =====

TI - ULTRA WIDE BAND WAVELENGTH DISPERSION COMPENSATION DEVICE AND OPTICAL COMMUNICATION SYSTEM USING THE SAME

AB - PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an ultra wide band wavelength dispersion compensation device and an optical communication system using the device wherein wavelength dispersion of a transfer channel and dispersion slope are compensated over a wide band.

- SOLUTION: When wavelength multiplexed signal light 8-1 of wavelength &  $\lambda_1 - \lambda_n$  is transferred through a long optical fiber transfer channel 1, an optical circulator 3 inputs the signal light to a port (1) and outputs it to a port (2) as wavelength multiplexed signal light 8-2. The signal light 8-2 is divided by a WDM(wavelength division multiplex) filter 9 to a short-wavelength band signal light 10-1 and long-wavelength band signal light 10-3, supplied to chirped grating fibers 6-1 and 6-2. The chirped grating fibers 6-1 and 6-2 apply the delay amount corresponding to wavelength to the signal light of each wavelength &  $\lambda_1 - \lambda_n$ , which are reflected to the WDM filter 9 as signal light 10-2 and 10-4. The signal light 10-2 and 10-4 are wave-synthesized by the WDM filter 9, which is outputted from the port (2) of the optical circulator 3 to the port (3) as wavelength multiplexed signal light 8-3, then transferred to a long optical fiber transfer channel 4 at the next stage as wavelength multiplexed signal light 8-5.

PN - JP11284263 A 19991015

PD - 1999-10-15

ABD - 20000131

ABV - 200001

AP - JP19980137920 19980520

PA - HITACHI CABLE LTD

IN - IMOTO KATSUYUKI

I - H01S3/10 ;G02B6/10 ;H01S3/07 ;H04J14/00 ;H04J14/02 ;H04B10/02 ;H04B10/18

(19) 日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-284263

(43) 公開日 平成11年(1999)10月15日

(51) Int.Cl.<sup>8</sup>

識別記号

F I

H 0 1 S 3/10

H 0 1 S 3/10

Z

G 0 2 B 6/10

G 0 2 B 6/10

C

H 0 1 S 3/07

H 0 1 S 3/07

H 0 4 J 14/00

H 0 4 B 9/00

E

14/02

M

審査請求 未請求 請求項の数25 O L (全 21 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号

特願平10-137920

(22) 出願日

平成10年(1998) 5月20日

(31) 優先権主張番号

特願平10-19703

(32) 優先日

平10(1998) 1月30日

(33) 優先権主張国

日本 (J P)

(71) 出願人 000005120

日立電線株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目1番2号

(72) 発明者 井本 克之

茨城県日立市日高町5丁目1番1号 日立

電線株式会社オプトロシステム研究所内

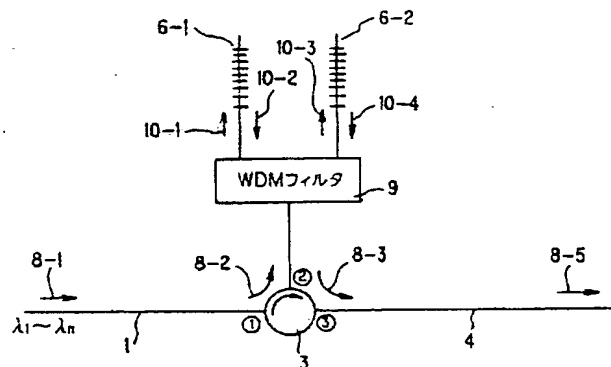
(74) 代理人 弁理士 平田 忠雄

(54) 【発明の名称】 超広帯域波長分散補償デバイス、およびそれを用いた光通信システム

(57) 【要約】

【課題】 広帯域にわたって伝送路の波長分散および分散スロープを補償することができる超広帯域波長分散補償デバイス、およびそれを用いた光通信システムを提供する。

【解決手段】 波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の波長多重信号光8-1が長尺光ファイバ伝送路1より伝送されてくると、光サーキュレータ3はポート①より入力してポート②に波長多重信号光8-2として出力する。この信号光8-2はWDMフィルタ9によって短波長帯の信号光10-1と長波長帯の信号光10-3として分波され、チャープトグレーティングファイバ6-1と6-2に供給される。チャープトグレーティングファイバ6-1と6-2は波長に応じた遅延量を各波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の信号光に付与して信号光10-2、10-4としてWDMフィルタ9に反射する。この信号光10-2と10-4はWDMフィルタ9によって合波され、波長多重信号光8-3として光サーキュレータ3のポート②からポート③に出力され、波長多重信号光8-5として次段の長尺光ファイバ伝送路4へ伝送させられる。



れた複数の分波信号光帯を合波して波長分散補償された波長多重信号光として前記光サーキュレータの前記第2のポートへ出力するWDMフィルタと、

前記WDMフィルタから出力された前記分波信号光帯を入力し当該分波信号光帯の波長に応じた位置で反射させることにより波長に応じた遅延量を前記分波信号光帯に付与して前記WDMフィルタへ供給するグレーティングと、

前記WDMフィルタに入力する前記波長多重信号光と前記WDMフィルタから出力される前記波長多重信号光から前記遅延量に応じた前記波長多重信号光の遅延時間差あるいは位相差を検出する検出手段と、

前記遅延時間差あるいは位相差に基づいて前記複数のグレーティングの前記遅延量を制御する制御手段を備えたことを特徴とする超広帯域波長分散補償デバイス。

【請求項12】 前記検出手段は、前記光サーキュレータの前記第2のポートに接続された光伝送路に結合されて前記波長多重信号光の1/10から1/100の光パワーを取り出す2端子カプラと、前記2端子カプラの各出力端子に結合された第1および第2の光・電気変換回路と、前記第1および第2の光・電気変換回路の出力に基づいて前記遅延時間差あるいは前記位相差を検出する検出回路を有する構成の請求項1記載の超広帯域波長分散補償デバイス。

【請求項13】 前記制御手段は、前記遅延時間差あるいは前記位相差に応じて前記複数のグレーティングの温度を制御する温度制御手段である構成の請求項1記載の超広帯域波長分散補償デバイス。

【請求項14】 前記制御手段は、前記遅延時間差あるいは前記位相差に応じて前記複数のグレーティングに付与する応力を制御する応力制御手段である構成の請求項1記載の超広帯域波長分散補償デバイス。

【請求項15】 光ファイバ伝送路を伝搬してきた波長多重信号光の波長分散を補償する超広帯域波長分散補償デバイスにおいて、

前記光ファイバ伝送路から伝搬してきた前記波長多重信号光を第1のポートに入力して第2のポートへ出力し、波長分散補償された前記波長多重信号光を前記第2のポートに入力して第3のポートに出力し、第3のポートには前記波長分散補償された波長多重信号光からドロップ（DROP）される所定の波長のドロップ信号光を通過し、残りの信号光を反射させる第1のグレーティングが接続され、第3のポートに入力された前記残りの信号光を第4のポートに出力する第1の光サーキュレータと、前記第1の光サーキュレータの前記第4のポートから出力された前記残りの信号光を第1のポートに入力して第2のポートに出力し、当該第2のポートには前記残りの信号光を反射し、前記残りの信号光にアッド（ADD）される所定の波長のアッド信号光を通過する第2のグレーティングが接続され、第2のポートに入力された前記

残りの信号光とアッド信号光を第3のポートに出力し、第3のポートには次段の光ファイバ伝送路が接続された第2の光サーキュレータと、

前記第1の光サーキュレータの前記第2のポートから出力された前記波長多重信号光を入力し当該波長多重信号光を複数の分波信号光帯に分波して出力し、波長分散補償された前記複数の分波信号光帯を入力し当該波長分散補償された複数の分波信号光帯を合波して波長分散補償された波長多重信号光として前記第1の光サーキュレータの前記第2のポートへ出力するWDMフィルタと、

前記WDMフィルタから出力された前記分波信号光帯を入力し当該分波信号光帯の波長に応じた位置で反射させることにより波長に応じた遅延量を前記分波信号光帯に付与して前記WDMフィルタへ供給する複数のグレーティングと、

前記第1の光サーキュレータの前記第3のポートから前記第1のグレーティングを介して前記ドロップ信号光を入力する光・電気変換回路と、

前記第2の光サーキュレータの前記第2のポートに前記第2のグレーティングを介して前記アッド信号光を出力する電気・光変換回路を備えたことを特徴とする超広帯域波長分散補償デバイス。

【請求項16】 光ファイバ伝送路を伝搬してきた波長多重信号光の波長分散を補償する超広帯域波長分散補償デバイスにおいて、

前記光ファイバ伝送路から伝搬してきた前記波長多重信号光を第1のポートに入力して第2のポートへ出力し、波長分散補償された前記波長多重信号光を前記第2のポートに入力して第3のポートに出力し、第3のポートには前記波長分散補償された波長多重信号光からドロップ（DROP）される所定の波長のドロップ信号光を通過し、残りの信号光を反射させる第1のグレーティングが接続され、第4のポートには前記第3のポートに入力した前記残りの信号光が入力される次段の光ファイバ伝送路が接続された光サーキュレータと、

前記光サーキュレータの前記第2のポートから出力された前記波長多重信号光を入力し当該波長多重信号光を複数の分波信号光帯に分波して出力し、波長分散補償された前記複数の分波信号光帯を入力し当該波長分散補償された複数の分波信号光帯を合波して波長分散補償された波長多重信号光として前記光サーキュレータの前記第2のポートへ出力するWDMフィルタと、

前記WDMフィルタから出力された前記分波信号光帯を入力し当該分波信号光帯の波長に応じた位置で反射させることにより波長に応じた遅延量を前記分波信号光帯に付与して前記WDMフィルタへ供給する複数のグレーティングと、

前記複数のグレーティング中の少なくとも1つのグレーティングを介して前記WDMフィルタに所定の波長のアッド（ADD）信号を供給するアッド信号光供給手段

波長多重信号光として前記光サーキュレータの前記第2のポートへ出力するWDMフィルタと、

前記WDMフィルタから出力された前記分波信号光帯を入力し当該分波信号光帯の波長に応じた位置で反射させることにより波長に応じた遅延量を前記分波信号光帯に付与して前記WDMフィルタへ供給するグレーティングと、

前記光サーキュレータの前記第3のポートに接続され、前記第3のポートから出力される前記波長多重信号光を増幅して次段の光ファイバ伝送路へ供給する希土類元素添加光ファイバ増幅器を備えたことを特徴とする光通信システム。

【請求項21】 光ファイバ伝送路を伝搬してきた波長多重信号光の波長分散を補償して前記波長多重信号光を伝送する光通信システムにおいて、

前記波長多重信号光を送信する送信手段と、

前記波長多重信号光を受信する受信手段と、

前記送信手段と前記受信手段の間に配置された少なくとも1つの波長分散補償デバイスより構成され、

前記波長分散補償デバイスは、

前記光ファイバ伝送路から伝搬してきた前記波長多重信号光を第1のポートに入力して第2のポートへ出力し、波長分散補償された前記波長多重信号光を前記第2のポートに入力して第3のポートに出力し次段の光ファイバ伝送路へ供給する光サーキュレータと、

前記光サーキュレータの前記第2のポートから出力された前記波長多重信号光を入力し当該波長多重信号光を複数の分波信号光帯に分波して出力し、波長分散補償された前記複数の分波信号光帯を入力し当該波長分散補償された複数の分波信号光帯を合波して波長分散補償された波長多重信号光として前記光サーキュレータの前記第2のポートへ出力するWDMフィルタと、

前記WDMフィルタから出力された前記分波信号光帯を入力し当該分波信号光帯の波長に応じた位置で反射させることにより波長に応じた遅延量を前記分波信号光帯に付与して前記WDMフィルタへ供給するグレーティングと、

前記光サーキュレータの前記第3のポートに接続され、前記第3のポートから出力される前記波長多重信号光を増幅して次段の光ファイバ伝送路へ供給する希土類元素添加光ファイバ増幅器と、

前記波長多重信号光の1/10から1/100の範囲の光パワを結合して取り出すカプラと、

前記光パワに基づいて前記希土類元素添加光ファイバ増幅器の利得を制御する制御手段を備えたことを特徴とする光通信システム。

【請求項22】 光ファイバ伝送路を伝搬してきた波長多重信号光の波長分散を補償して前記波長多重信号光を伝送する光通信システムにおいて、

前記波長多重信号光を送信する送信手段と、

前記波長多重信号光を受信する受信手段と、

前記送信手段と前記受信手段の間に配置された少なくとも1つの波長分散補償デバイスより構成され、

前記波長分散補償デバイスは、

前記光ファイバ伝送路から伝搬してきた前記波長多重信号光を第1のポートに入力して第2のポートへ出力し、波長分散補償された前記波長多重信号光を前記第2のポートに入力して第3のポートに出力し次段の光ファイバ伝送路へ供給する光サーキュレータと、

10 前記光サーキュレータの前記第2のポートから出力された前記波長多重信号光を入力し当該波長多重信号光を複数の分波信号光帯に分波して出力し、波長分散補償された前記複数の分波信号光帯を入力し当該波長分散補償された複数の分波信号光帯を合波して波長分散補償された波長多重信号光として前記光サーキュレータの前記第2のポートへ出力するWDMフィルタと、

前記WDMフィルタから出力された前記分波信号光帯を入力し当該分波信号光帯の波長に応じた位置で反射させることにより波長に応じた遅延量を前記分波信号光帯に付与して前記WDMフィルタへ供給するグレーティングと、

20 前記WDMフィルタに入力する前記波長多重信号光と前記WDMフィルタから出力される前記波長多重信号光から前記遅延量に応じた前記波長多重信号光の遅延時間差あるいは位相差を検出する検出手段と、  
前記遅延時間差あるいは位相差に基づいて前記複数のグレーティングの前記遅延量を制御する制御手段を備えたことを特徴とする光通信システム。

【請求項23】 光ファイバ伝送路を伝搬してきた波長多重信号光の波長分散を補償して前記波長多重信号光を伝送する光通信システムにおいて、

前記波長多重信号光を送信する送信手段と、

前記波長多重信号光を受信する受信手段と、

前記送信手段と前記受信手段の間に配置された少なくとも1つの波長分散補償デバイスより構成され、

前記波長分散補償デバイスは、

前記光ファイバ伝送路から伝搬してきた前記波長多重信号光を第1のポートに入力して第2のポートへ出力し、波長分散補償された前記波長多重信号光を前記第2のポートに入力して第3のポートに出力し、第3のポートには前記波長分散補償された波長多重信号光からドロップ（DROP）される所定の波長のドロップ信号光を通過し、残りの信号光を反射させる第1のグレーティングが接続され、第3のポートに入力された前記残りの信号光を第4のポートに出力する第1の光サーキュレータと、

40 前記第1の光サーキュレータの前記第4のポートから出力された前記残りの信号光を第1のポートに入力して第2のポートに出力し、当該第2のポートには前記残りの信号光を反射し、前記残りの信号光にアッド（ADD）される所定の波長のアッド信号光を通過する第2のグレー

ィングと、

前記第1の光サーキュレータの前記第3のポートから前記第1のグレーティングを介して前記ドロップ信号光を入力する光・電気変換回路と、

前記第2の光サーキュレータの前記第2のポートに前記第2のグレーティングを介して前記アッド信号光を出力する電気・光変換回路と、

前記第1の光サーキュレータの前記第1のポートに接続された光伝送路に結合して前記波長多重信号光に重畳されて伝送される監視用信号を取り出すカプラと、

前記カプラの出力に基づいて前記希土類元素添加光ファイバ増幅器の励起用光源の光源パワを制御する制御手段を備えたことを特徴とする光通信システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は波長多重通信伝送路の波長分散を広帯域にわたって補償するための多機能型広帯域波長分散補償デバイス、およびそれを用いた光通信システムに関するものである。

【0002】

【従来の技術】近年、1.55 $\mu$ m帯の光ファイバ増幅器の急速な進展に伴い、1.55 $\mu$ m帯の光信号を数波乃至数十波用いた波長多重伝送により、高速かつ大容量の情報を長距離伝送するシステムの研究開発が活発になってきた。このようなシステムの構成方法として、伝送路に零分散特性を1.3 $\mu$ mに持つシングルモード光ファイバを用い、これに1.55 $\mu$ m帯の波長多重された信号光を数波～数十波伝送させる方法が検討されている。波長多重された信号光を長距離伝送する場合、問題になるのは波長分散（光の速度が波長により異なること）である。

【0003】図15は分散状態と伝搬距離の関係を示す。パルス状の入力信号光が光ファイバを伝搬するとき、分散が零であれば光ファイバから出力される波形に変化は生じない。しかし、分散値が大きくなるにつれて、入力信号光のパルス波形自体が崩れて広がりをもってくる。このように分散値の大きい光ファイバ内を入力信号光が長距離伝搬すると、その出力信号光が劣化する。そこで、波長分散を補償し、分散値を零にする必要がある。1.55 $\mu$ m帯での光ファイバの波長分散を補償する方法として、波長多重伝送路に分散補償ファイバを付加する方法が提案されている。その具体例が、特開平8-234255号公報及び特開平9-191290号公報に示されている。

【0004】図16は従来の波長分散補償デバイスの第1例を示す。光分岐結合器（CPL）101は、波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ により波長多重されている信号光100-1を入力とし、波長 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ の波長毎に分岐して出力する。光分岐結合器101のn個の出力端のそれぞれには、予め設定した波長帯のみを通過させるバン

ドパスフィルタ（BPF）102-1～102-nが接続されている。バンドパスフィルタ102-1～102-nのそれぞれには、波長分散補償部（DC）103-1～103-nが接続され、これらの出力端には光分岐結合器（CPL）104が接続されている。光分岐結合器104からは、波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ を波長多重した信号光100-2が出力される。

【0005】図16の構成では、光分岐結合器101によって波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ が波長毎に分波され、更に、バンドパスフィルタ102-1～102-nのそれぞれによって定められた波長以外の波長成分が除去される。この後、分波後の各波長の光信号毎にそれぞれ独立に波長分散補償部103-1～103-nにより伝送路の波長分散が補償され、各波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ のそれぞれに対して全体として零分散になる。波長分散補償部103-1～103-nの出力は、光分岐結合器104によって多重化され、信号光100-2として出力される。

【0006】図17は広い波長域にわたって波長分散を補償する方式を示す。この方式は、光サーキュレータと、カスケードに接続された複数のファイバグレーティングを用いたものであり、特開平8-286218号公報に開示されている。これは、光サーキュレータ105のポート②にファイバグレーティング106-1, 106-2,  $\dots$  106-nをカスケードに接続することによって、ポート①に入力する波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の多重信号光100-1が波長の違いによるパルスの伝達時間差を光学的に補償されてポート③から多重信号光100-2として出力される。ファイバグレーティング106-1～106-nのカスケード接続部の終端22は反射防止の処理が施されている。

【0007】図18は複数の波長の波長分散を補償する方式を示す。この方式は特開平7-327012号公報に開示されている。この方式によると、波長多重された信号光100-1をポート①～ポート③を有する光サーキュレータ105を通して分散補償光ファイバ107へ導き、その後、マルチプレクサ/ディマルチプレクサ108でそれぞれの波長の信号を分波して異なる分散補償ファイバ109-1, 109-2,  $\dots$  109-n内を伝搬させ、それぞれのミラー110で反射させて再びそれぞれの分散補償ファイバ109-1, 109-2,  $\dots$  109-nを通してマルチプレクサ/ディマルチプレクサ108で合波され、分散補償ファイバ107、光サーキュレータ105を通して出力されることにより、それぞれの波長の分散を補償する。

【0008】図19は伝送距離を延ばすため、伝送路の途中に光ファイバ増幅器を挿入する方式を示し、特開平8-204258号公報に開示されている。この方式によると、送信器111からの光を零分散光ファイバ118に伝搬させて受信器112に受信させる光通信システムにファイバ型分散補償器119を介した構成であ

記分波信号光帯を、前記長波長帯の前記分波信号光帯よりも大きく遅延させるように構成することが好ましい。

【0013】前記光サーキュレータは、前記第2のポートが分散補償ファイバを介して前記WDMフィルタと接続されていることが好ましい。

【0014】前記光サーキュレータは、前記第1のポートが分散補償ファイバを介して前記光ファイバ伝送路に接続されていることが好ましい。

【0015】前記光ファイバ伝送路および前記次段の光ファイバ伝送路は、シングルモード光ファイバまたは分散シフトファイバであることが好ましい。

【0016】前記光サーキュレータは、前記第3のポートが前記波長多重信号光を増幅する希土類元素添加光ファイバ増幅器を介して前記次段の光ファイバ伝送路に接続されていることが好ましい。

【0017】前記複数のグレーティングは、前記波長多重信号光中の所定の波長の信号光を減衰させるフィルタに直列に接続されたグレーティングを含むことが好ましい。

【0018】前記複数のグレーティングは、ブラッググレーティングファイバ、チャープグレーティングファイバ、ブラッググレーティング導波路あるいはチャープグレーティング導波路で構成することが好ましい。

【0019】前記複数のグレーティングは、終端に無反射終端器を接続することが好ましい。

【0020】また、本発明は上記の目的を達成するため、光ファイバ伝送路を伝搬してきた波長多重信号光の波長分散を補償する超広帯域波長分散補償デバイスにおいて、前記光ファイバ伝送路から伝搬してきた前記波長多重信号光を第1のポートに入力して第2のポートへ出力し、波長分散補償された前記波長多重信号光を前記第2のポートに入力して第3のポートに出力し次段の光ファイバ伝送路へ供給する光サーキュレータと、前記光サーキュレータの前記第2のポートから出力された前記波長多重信号光を入力し当該波長多重信号光を複数の分波信号光帯に分波して出力し、波長分散補償された前記複数の分波信号光帯を入力し当該波長分散補償された複数の分波信号光帯を合波して波長分散補償された波長多重信号光として前記光サーキュレータの前記第2のポートへ出力するWDMフィルタと、前記WDMフィルタから出力された前記分波信号光帯を入力し当該分波信号光帯の波長に応じた位置で反射させることにより波長に応じた遅延量を前記分波信号光帯に付与して前記WDMフィルタへ供給するグレーティングと、前記光サーキュレータの前記第3のポートに接続され、前記第3のポートから出力される前記波長多重信号光を増幅して次段の長尺の光ファイバ伝送路へ供給する希土類元素添加光ファイバ増幅器と、前記波長多重信号光の1/10から1/1000の範囲の光パワを結合して取り出すカプラと、前記光パワに基づいて前記希土類元素添加光ファイバ増幅器

の利得を制御する制御手段を備えたことを特徴とする超広帯域波長分散補償デバイスを提供する。

【0021】また、本発明は上記の目的を達成するため、光ファイバ伝送路を伝搬してきた波長多重信号光の波長分散を補償する超広帯域波長分散補償デバイスにおいて、前記光ファイバ伝送路から伝搬してきた前記波長多重信号光を第1のポートに入力して第2のポートへ出力し、波長分散補償された前記波長多重信号光を前記第2のポートに入力して第3のポートに出力し次段の光ファイバ伝送路へ供給する光サーキュレータと、前記光サーキュレータの前記第2のポートから出力された前記波長多重信号光を入力し当該波長多重信号光を複数の分波信号光帯に分波して出力し、波長分散補償された前記複数の分波信号光帯を入力し当該波長分散補償された複数の分波信号光帯を合波して波長分散補償された波長多重信号光として前記光サーキュレータの前記第2のポートへ出力するWDMフィルタと、前記WDMフィルタから出力された前記分波信号光帯を入力し当該分波信号光帯の波長に応じた位置で反射させることにより波長に応じた遅延量を前記分波信号光帯に付与して前記WDMフィルタへ供給するグレーティングと、前記WDMフィルタに入力する前記波長多重信号光と前記WDMフィルタから出力される前記波長多重信号光から前記遅延量に応じた前記波長多重信号光の遅延時間差あるいは位相差を検出する検出手段と、前記遅延時間差あるいは位相差に基づいて前記複数のグレーティングの前記遅延量を制御する制御手段を備えたことを特徴とする超広帯域波長分散補償デバイスを提供する。

【0022】ここで、前記検出手段は、前記光サーキュレータの前記第2のポートに接続された光伝送路に結合されて前記波長多重信号光の1/10から1/1000の光パワを取り出す2端子カプラと、前記2端子カプラの各出力端子に結合された第1および第2の光・電気変換回路と、前記第1および第2の光・電気変換回路の出力に基づいて前記遅延時間差あるいは前記位相差を検出する検出回路を有する構成が好ましい。

【0023】前記制御手段は、前記遅延時間差あるいは前記位相差に応じて前記複数のグレーティングの温度を制御する温度制御手段である構成が好ましい。

【0024】前記制御手段は、前記遅延時間差あるいは前記位相差に応じて前記複数のグレーティングに付与する応力を制御する応力制御手段である構成が好ましい。

【0025】また、本発明は上記の目的を達成するため、光ファイバ伝送路を伝搬してきた波長多重信号光の波長分散を補償する超広帯域波長分散補償デバイスにおいて、前記光ファイバ伝送路から伝搬してきた前記波長多重信号光を第1のポートに入力して第2のポートへ出力し、波長分散補償された前記波長多重信号光を前記第2のポートに入力して第3のポートに出力し、第3のポートには前記波長分散補償された波長多重信号光からド

号光を出力する電気・光変換回路と、前記第1の光サーキュレータの前記第1のポートに接続された光伝送路に結合して前記波長多重信号光に重畳されて伝送される監視用信号を取り出すカプラと、前記カプラの出力に基づいて前記希土類元素添加光ファイバ増幅器の励起用光源の光源パワを制御する制御手段を備えたことを特徴とする超広帯域波長分散補償デバイスを提供する。

【0028】ここで、前記制御手段は、前記次段の光ファイバ伝送路用の監視用信号光源の光源パワをも制御するようにすることが好ましい。

【0029】また、本発明は上記の目的を達成するため、光ファイバ伝送路を伝搬してきた波長多重信号光の波長分散を補償して前記波長多重信号光を伝送する光通信システムにおいて、前記波長多重信号光を送信する送信手段と、前記波長多重信号光を受信する受信手段と、前記送信手段と前記受信手段の間に配置された少なくとも1つの波長分散補償デバイスより構成され、前記波長分散補償デバイスは、前記光ファイバ伝送路から伝搬してきた前記波長多重信号光を第1のポートに入力して第2のポートへ出力し、波長分散補償された前記波長多重信号光を前記第2のポートに入力して第3のポートに出力し次段の光ファイバ伝送路へ供給する光サーキュレータと、前記光サーキュレータの前記第2のポートから出力された前記波長多重信号光を入力し当該波長多重信号光を複数の分波信号光帯に分波して出力し、波長分散補償された前記複数の分波信号光帯を入力し当該波長分散補償された複数の分波信号光帯を合波して波長分散補償された波長多重信号光として前記光サーキュレータの前記第2のポートへ出力するWDMフィルタと、前記WDMフィルタから出力された前記分波信号光帯を入力し当該分波信号光帯の波長に応じた位置で反射させることにより波長に応じた遅延量を前記分波信号光帯に付与して前記WDMフィルタへ供給するグレーティングを複数備えたことを特徴とする光通信システムを提供する。

【0030】また、本発明は上記の目的を達成するため、光ファイバ伝送路を伝搬してきた波長多重信号光の波長分散を補償して前記波長多重信号光を伝送する光通信システムにおいて、前記波長多重信号光を送信する送信手段と、前記波長多重信号光を受信する受信手段と、前記送信手段と前記受信手段の間に配置された少なくとも1つの波長分散補償デバイスより構成され、前記波長分散補償デバイスは、前記光ファイバ伝送路から伝搬してきた前記波長多重信号光を第1のポートに入力して第2のポートへ出力し、波長分散補償された前記波長多重信号光を前記第2のポートに入力して第3のポートに出力し次段の光ファイバ伝送路へ供給する光サーキュレータと、前記光サーキュレータの前記第2のポートから出力された前記波長多重信号光を入力し当該波長多重信号光を複数の分波信号光帯に分波して出力し、波長分散補償された前記複数の分波信号光帯を入力し当該波長分散

補償された複数の分波信号光帯を合波して波長分散補償された波長多重信号光として前記光サーキュレータの前記第2のポートへ出力するWDMフィルタと、前記WDMフィルタから出力された前記分波信号光帯を入力し当該分波信号光帯の波長に応じた位置で反射させることにより波長に応じた遅延量を前記分波信号光帯に付与して前記WDMフィルタへ供給するグレーティングと、前記光サーキュレータの前記第3のポートに接続され、前記第3のポートから出力される前記波長多重信号光を増幅して次段の光ファイバ伝送路へ供給する希土類元素添加光ファイバ増幅器を備えたことを特徴とする光通信システムを提供する。

【0031】また、本発明は上記の目的を達成するため、光ファイバ伝送路を伝搬してきた波長多重信号光の波長分散を補償して前記波長多重信号光を伝送する光通信システムにおいて、前記波長多重信号光を送信する送信手段と、前記波長多重信号光を受信する受信手段と、前記送信手段と前記受信手段の間に配置された少なくとも1つの波長分散補償デバイスより構成され、前記波長分散補償デバイスは、前記光ファイバ伝送路から伝搬してきた前記波長多重信号光を第1のポートに入力して第2のポートへ出力し、波長分散補償された前記波長多重信号光を前記第2のポートに入力して第3のポートに出力し次段の光ファイバ伝送路へ供給する光サーキュレータと、前記光サーキュレータの前記第2のポートから出力された前記波長多重信号光を入力し当該波長多重信号光を複数の分波信号光帯に分波して出力し、波長分散補償された前記複数の分波信号光帯を入力し当該波長分散補償された複数の分波信号光帯を合波して波長分散補償された波長多重信号光として前記光サーキュレータの前記第2のポートへ出力するWDMフィルタと、前記WDMフィルタから出力された前記分波信号光帯を入力し当該分波信号光帯の波長に応じた位置で反射させることにより波長に応じた遅延量を前記分波信号光帯に付与して前記WDMフィルタへ供給するグレーティングと、前記光サーキュレータの前記第3のポートに接続され、前記第3のポートから出力される前記波長多重信号光を増幅して次段の光ファイバ伝送路へ供給する希土類元素添加光ファイバ増幅器と、前記波長多重信号光の $1/10$ から $1/100$ の範囲の光パワを結合して取り出すカプラと、前記光パワに基づいて前記希土類元素添加光ファイバ増幅器の利得を制御する制御手段を備えたことを特徴とする光通信システムを提供する。

【0032】また、本発明は上記の目的を達成するため、光ファイバ伝送路を伝搬してきた波長多重信号光の波長分散を補償して前記波長多重信号光を伝送する光通信システムにおいて、前記波長多重信号光を送信する送信手段と、前記波長多重信号光を受信する受信手段と、前記送信手段と前記受信手段の間に配置された少なくとも1つの波長分散補償デバイスより構成され、前記波長

10

20

30

40

50

信システムを提供する。

【0035】また、本発明は上記の目的を達成するため、光ファイバ伝送路を伝搬してきた波長多重信号光の波長分散を補償して前記波長多重信号光を送送する光通信システムにおいて、前記波長多重信号光を送信する送信手段と、前記波長多重信号光を受信する受信手段と、前記送信手段と前記受信手段の間に配置された少なくとも1つの波長分散補償デバイスより構成され、前記波長分散補償デバイスは、前記光ファイバ伝送路から伝搬してきた前記波長多重信号光を第1のポートに入力して第2のポートへ出力し、波長分散補償された前記波長多重信号光を前記第2のポートに入力して第3のポートに出力し、第3のポートには前記波長分散補償された波長多重信号光からドロップ(DROP)される所定の波長のドロップ信号光を通過し、残りの信号光を反射させる第1のグレーティングが接続され、第3のポートに入力された前記残りの信号光を第4のポートに出力する第1の光サーキュレータと、一端を前記第1の光サーキュレータの前記第4のポートに接続された希土類元素添加光ファイバ増幅器と、前記希土類元素添加光ファイバ増幅器の他端から出力された増幅された前記残りの信号光を第1のポートに入力して第2のポートに出力し、当該第2のポートには前記残りの信号光を反射し、前記残りの信号光にアッド(ADD)される所定の波長のアッド信号光を通過する第2のグレーティングが接続され、第2のポートに入力された前記残りの信号光とアッド信号光を第3のポートに出力し、第3のポートには次段の光ファイバ伝送路が接続された第2の光サーキュレータと、前記第1の光サーキュレータの前記第2のポートから出力された前記波長多重信号光を入力し当該波長多重信号光を複数の分波信号光帯に分波して出力し、波長分散補償された前記複数の分波信号光帯を入力し当該波長分散補償された複数の分波信号光帯を合波して波長分散補償された波長多重信号光として前記第1の光サーキュレータの前記第2のポートへ出力するWDMフィルタと、前記WDMフィルタから出力された前記分波信号光帯を入力し当該分波信号光帯の波長に応じた位置で反射させることにより波長に応じた遅延量を前記分波信号光帯に付与して前記WDMフィルタへ供給する複数のグレーティングと、前記第1の光サーキュレータの前記第3のポートから前記第1のグレーティングを介して前記ドロップ信号光を入力する光・電気変換回路と、前記第2の光サーキュレータの前記第2のポートに前記第2のグレーティングを介して前記アッド信号光を出力する電気・光変換回路と、前記第1の光サーキュレータの前記第1のポートに接続された光伝送路に結合して前記波長多重信号光に重畳されて伝送される監視用信号を取り出すカプラと、前記カプラの出力に基づいて前記希土類元素添加光ファイバ増幅器の励起用光源の光源パワを制御する制御手段を備えたことを特徴とする光通信システムを提供す

る。

【0036】

【発明の実施の形態】図1は本発明の第1の実施の形態による多機能型広帯域波長分散補償デバイスを示す。この多機能型広帯域波長分散補償デバイスは、反射型の波長分散補償方式によるものであり、入力光伝送路1から供給される波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の多重信号光をポート①からポート②に導き、ポート②からの信号光をポート③に出力して出力光伝送路4に導く光サーキュレータ3と、この光サーキュレータ3からの波長多重された信号光を複数の波長帯に分波し、逆方向からの各信号光を合波するWDMフィルタ9と、信号光を波長に応じて遅延して反射する遅延反射手段としてのチャープトグレーティングファイバ6-1、6-2とからなる。光サーキュレータ3は、3つのポート①～③を持ち、第1ポート①に対しては第2ポート②が順方向となり、第2ポート②に対しては第3ポート③が順方向となるものである。WDMフィルタ9は、1入力p出力( $p \geq 2$ の整数)のものであり、チャープトグレーティングファイバ6-1、6-2は、長手方向に屈折率の周期が徐々に短くなるように変えたものである。

【0037】この多機能型広帯域波長分散補償デバイスにおいて、波長多重された信号光8-1は、入力光伝送路1内を伝播し、光サーキュレータ3の第1ポート①に入射する。波長多重された信号光8-1の波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ は、波長1.53 $\mu\text{m}$ から波長1.61 $\mu\text{m}$ までの範囲内から選ばれる。入力光伝送路1及び出力光伝送路4には、シングルモード光ファイバが用いられるが、分散シフトファイバや波長多重伝送(WDM)用光ファイバを用いても良い。入力光伝送路1の長さは、例えば、50Kmとする。この入力光伝送路1内を波長多重された信号光8-1が伝播していくと、伝播距離が長くなるにつれて波長分散値が大きくなり、かつ波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ 毎に波長分散値が異なるいわゆる分散スロープが形成される。

【0038】上記波長分散値をできる限りゼロに近づけ、かつ分散スロープを小さくする必要がある。すなわち、入力光伝送路1内を伝播する信号光の伝送歪みをできる限り小さくする必要がある。このように波長分散を補償し、かつ分散スロープを小さくするために、波長分散補償デバイスは次のように構成されている。

【0039】光サーキュレータ3は、第1ポート①からは第2ポート②へ、第2ポート②から第3ポート③へ、第3ポート③から第1ポート①へ信号光を伝播させる作用がある。そこで、光サーキュレータ3の第1ポート①に入射した信号光8-1は、信号光8-2として矢印方向に伝播して第2ポート②から出力され、WDMフィルタ9の入力端に導かれる。

【0040】このWDMフィルタ9は、1入力2出力の光合分波回路であり、波長多重された信号光8-2が、



1~6-8は分散制御量が小さいので、例えば、遅延反射手段として導波路型のブラッググレーティング、あるいはチャプトグレーティングを用いる。また、それぞれ長さの異なる長尺の高比屈折率差導波路を用いても良い。つまり、高比屈折率差 $\Delta$ を、例えば10%にしたW型構造の導波路を用いると、分散値は約 $-1000\text{PS/nm/Km}$ という高い値を得ることができるので、1m前後の終端完全反射器付き導波路でそれぞれの波長の分散を補償することができる。

【0047】上記分散補償ファイバは、入力光伝送路1の途中に挿入しても良い。なお、ブラッググレーティングファイバ、あるいはチャプトグレーティングファイバ6-1~6-8の終端には無反射終端器を接続して、終端での不要な反射や非希望光の信号光の反射をなくすようにしても良い。

【0048】図4は本発明の第4の実施の形態による波長分散補償デバイスを示す。これは光サーキュレータ3の第2ポート②とWDMフィルタ9との間に、波長多重された信号光8-2、8-3の1/10から1/100の範囲の光パワを結合して取り出す2端子カプラ24を設け、そのカプラの両出力端に光・電気変換回路25-1、25-2を接続した構成である。光サーキュレータ3の第2ポート②とWDMフィルタ9との間に2端子カプラ24を設けると、第2ポート②からWDMフィルタ9へ伝播していく信号光8-2の一部分の光信号8-2-1と、WDMフィルタ9から第2ポート②へ伝播していく信号光8-3の一部分の光信号8-3-1を、光・電気変換回路25-1、25-2で検出することができる。上記光信号8-2-1、8-3-1との光パワ比から、矢印8-1、8-2のごとく伝播してきた信号光の光パワの減衰量を知ることができ、また矢印8-2、8-3のごとく伝播してきた信号光のWDMフィルタ9、チャプトグレーティングファイバ6-1、6-2での信号光の光パワの減衰量を知ることができる。さらに、チャプトグレーティングファイバ6-1、6-2での遅延量を知ることにもできる。従って、光・電気変換回路25-1、25-2の出力信号を遅延時間測定器26に接続することによって入力光伝送路1を伝播してきたことによって生じた波長分散量をチャプトグレーティングファイバ6-1、6-2でどの程度補償されたかを求めることができる。

【0049】図5は本発明の第5の実施の形態による多機能型広帯域波長分散補償デバイスを示す。この多機能型広帯域波長分散補償デバイスにおいて、図4で示した光・電気変換回路25-1、25-2の出力信号は位相差比較回路27に入力されている。この位相差比較回路27の出力信号は信号光8-2と8-3の遅延時間差情報を含んでいるので、この出力信号をチャプトグレーティングファイバ6-1、6-2を収納しているボックス（ベルチェ素子内蔵）の温度制御を行うための温度調

節回路28に入力させる。そして上記遅延時間差が所定値になるように収納ボックス29に内蔵されたベルチェ素子を駆動する。このようなフィードバック系を設けておくと、所望の遅延時間差を実現させるため、収納ボックスの温度の最適化を図ることができ、周囲温度の変化に対しても収納ボックスの温度を一定に保つことができる。

【0050】図6は本発明の第6の実施の形態による多機能型広帯域波長分散補償デバイス（増幅作用を有する）を示し、波長分散補償と増幅を行うことができる。この多機能型広帯域波長分散補償デバイスの出力光伝送路4の途中にEr添加光ファイバ15を挿入したものである。すなわち、波長分散を補償された信号光8-3を光サーキュレータ3の第2ポート②から第3ポート③に導いた後、WDMカプラ18-1を通して励起光源16-1からの励起光19-1を合流させてEr添加光ファイバ15内を伝播させる。励起光源16-1には、波長 $0.98\mu\text{m}$ 帯或いは波長 $1.48\mu\text{m}$ 帯のレーザ光源を用いる。さらに、Er添加光ファイバ15には、励起光源16-2からの励起光19-2をWDMカプラ18-2を通して伝播させるようになっている。これらの励起光19-1、19-2がEr添加光ファイバ15内を伝播することによって反転分布状態が生じ、波長多重された信号光は増幅されて光アイソレータ17を通して信号光8-5として出力される。なお、励起光源16-1、16-2はいずれか一方だけでも良い。

【0051】この構成では、波長分散補償と増幅とが一体構成されたデバイスの中で実現される。しかも、光部品を互いに共用している。共用部品の一つは光サーキュレータ3である。この構成による効果は、小型、コンパクトに構成できること、光部品点数が少なく、低コストで実現できること、光増幅部も含めて波長分散補償を行うことができることである。

【0052】図7は本発明の第7の実施の形態による多機能型広帯域波長分散補償デバイス（増幅作用を有する）を示す。図6の多機能型広帯域波長分散補償デバイスとの相違は、光サーキュレータ3とWDMフィルタ9との間に分散補償ファイバ14を挿入したこと、WDMフィルタ9を1入力8出力としたこと、及びWDMフィルタ9とチャプトグレーティングファイバ6-1との間に波長 $1.53\mu\text{m}$ 帯の信号光を減衰させるフィルタ20を挿入したことである。

【0053】分散補償ファイバ14の挿入及びWDMフィルタ9の出力端数の変更については、既に述べた。ここでは、特定波長帯についてフィルタ20を使用する理由を説明する。

【0054】図8は光ファイバ増幅器の利得波長特性を示す。フィルタ20を使用しない場合は実線のように、波長 $1.53\mu\text{m}$ の近傍にピークがあり、平坦でない。

## 31

の間にEr添加光ファイバ15を設け、かつ、入力側光伝送路1に波長多重信号光8-1に重畳させて監視用信号30を伝送させ、その監視用信号30をカプラ31-1で検出し、図9と同じように、その検出信号でEr添加光ファイバ15の利得を制御する。電気・光変換回路33は、図9と同じように、次段へ監視用信号を供給する。

【0060】次に、本発明の光通信システムの実施の形態を説明する。

【0061】図14に示した光通信システムは、これまでに述べた多機能型広帯域波長分散補償デバイスを伝送路上に複数挿入して構成した長距離大容量高速中継システムである。波長多重された信号光を送信する送信端末21とその信号光を受信する受信端末23との間に、多機能型広帯域波長分散補償デバイス22-1、22-2、...、22-mが挿入されている。送信端末21から1番目の多機能型広帯域波長分散補償デバイス22-1までの、シングルモード光ファイバまたは分散シフトファイバによる伝送路の距離は数十Kmであり、1番目の多機能型広帯域波長分散補償デバイス22-1から2番目の多機能型広帯域波長分散補償デバイス22-2までの距離も数十Kmである。このようにして、順次、同様の距離を隔ててm番目までの多機能型広帯域波長分散補償デバイス22-mが配置され、同様の距離を隔てて受信端末23が配置される。mは、1~数百まで選ぶことができる。送信端末21から送信する情報の伝送速度は、例えば、2.4Gb/S、10Gb/S、40Gb/Sである。信号光は、例えば、波長0.2nm、0.4nm、0.8nm間隔で8チャンネル、16チャンネル、32チャンネル、64チャンネル、128チャンネルというように波長多重し、高密度波長多重伝送を行うことができる。

【0062】

【発明の効果】本発明によれば、次のような効果を発揮する。

(1) 波長多重された信号光をWDMフィルタで少なくとも2つの波長帯に分波し、その後、分波した信号光をそれぞれの波長に対して極めて急峻な波長依存性をもったチャープグレーティングファイバ（あるいは導波路）内を伝播させることにより、それぞれ分散補償すべき波長の信号光を所望の遅延時間をもたせてそれぞれ反射させて再びWDMフィルタに戻して合波させ、光サーキュレータの第3ポートから波長分散を補償された信号光を出力する。WDMフィルタの波長分散度が悪くて非希望の信号光がたとえ漏れてそれぞれのチャープグレーティングファイバ（あるいは導波路）内を伝播しても、非希望の信号光はチャープグレーティングファイバ（あるいは導波路）内で反射されず、チャープグレーティングファイバの他端から放出されてしまう。すなわち、非希望の信号光にまで波長分散補償は行われないので、

## 32

波長多重された信号光がシングルモード光ファイバ内を長距離伝播することによって生じた波長分散を高精度に補償することができる。

(2) それぞれのチャープグレーティングファイバ（あるいは導波路）内を伝播させる信号光のチャンネル数は減少するので、所定の長さのチャープグレーティングファイバ（あるいは導波路）を使用して、現状技術で容易に実現でき、かつ温度、湿度、などの環境変化に対しても特性変動を十分に低く抑えることができる。

(3) チャープグレーティングファイバ（あるいは導波路）の数を2本から8本に選択することにより分波損失を低く抑えることができる。

(4) 分散補償される前の信号光と分散補償された信号光を検出することにより、それぞれのチャープグレーティングファイバ（あるいは導波路）での分散補償量を評価することができる。また、チャープグレーティングファイバ（あるいは導波路）の温度、または応力を制御して分散補償量の最適化を図ることができる。

(5) 分散補償と光増幅を一体化した構成で実現することにより、全体の系の分散補償量と分散補償された信号光のそれぞれの光パワの振幅を一定にすることができる。

(6) 入力光伝送路から信号光に監視用信号を重畳して伝送させ、その監視用信号をカプラでモニタし、そのモニタした検出信号で励起光源の光パワを制御することにより、常に一定の信号光出力を得ることができる。また、モニタした検出信号で、出力光伝送路に結合して伝送させる監視用信号の光パワを制御することにより、次の中継器へ監視用信号を確実に供給することができる。

(7) 分散補償と光増幅以外に、波長多重された信号光の一部をドロップして取り出したり、アッド（付加）して上記ドロップした波長と同一か、あるいは別の波長の信号光を付加したりする、アッド／ドロップ機能も一体化することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態による多機能型広帯域波長分散補償デバイスを示す説明図。

【図2】本発明の第2の実施の形態による多機能型広帯域波長分散補償デバイスを示す説明図。

【図3】本発明の第3の実施の形態による多機能型広帯域波長分散補償デバイスを示す説明図。

【図4】本発明の第4の実施の形態による多機能型広帯域波長分散補償デバイスを示す説明図。

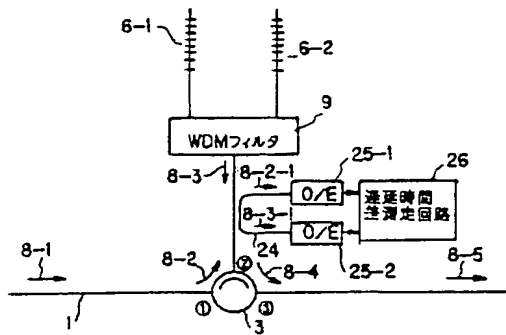
【図5】本発明の第5の実施の形態による多機能型広帯域波長分散補償デバイスを示す説明図。

【図6】本発明の第6の実施の形態による多機能型広帯域波長分散補償デバイスを示す説明図。

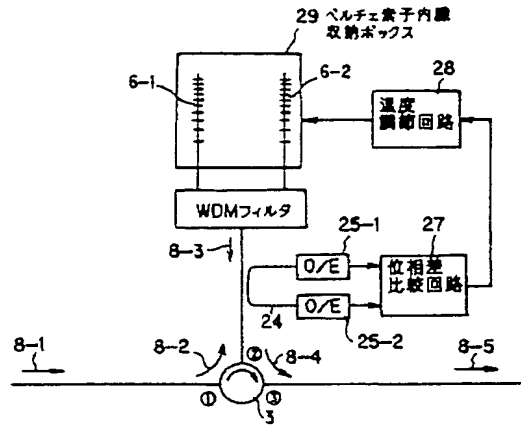
【図7】本発明の第7の実施の形態による多機能型広帯域波長分散補償デバイスを示す説明図。

【図8】光ファイバ増幅器の利得波長特性を示すグラフ。

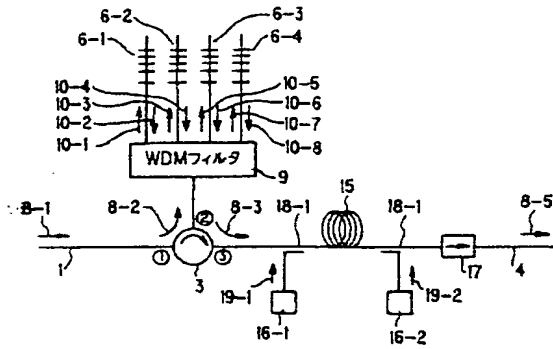
【図4】



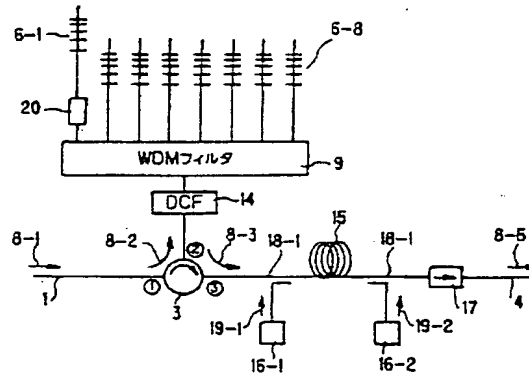
【図5】



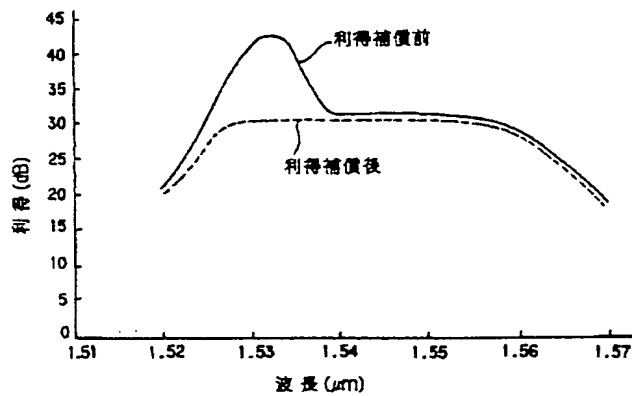
【図6】



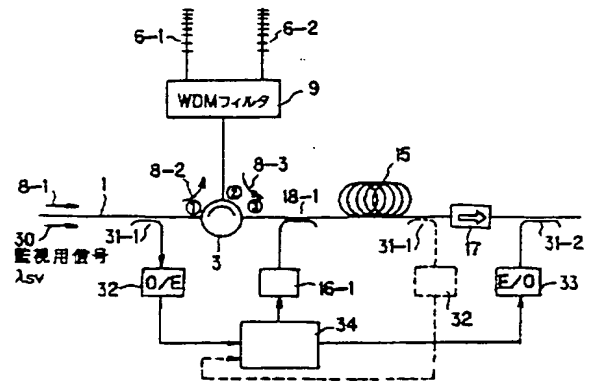
【図7】



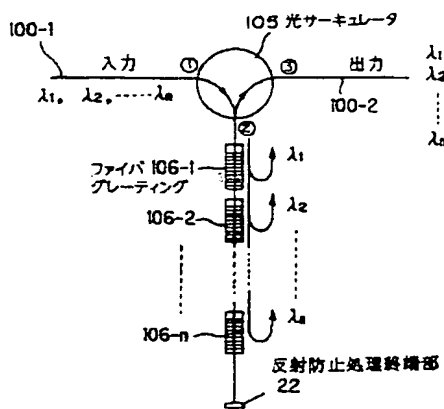
【図8】



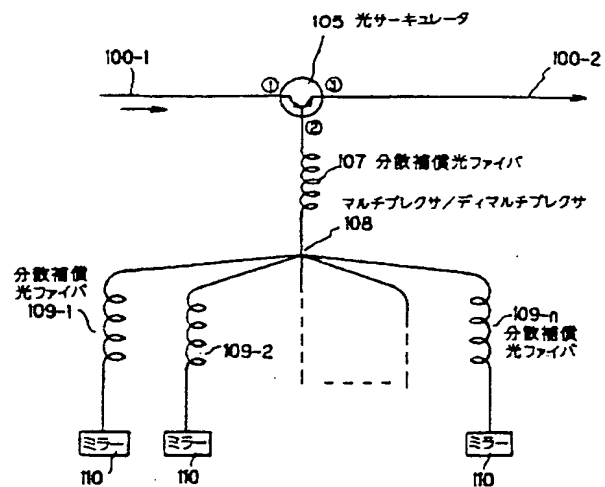
【図9】



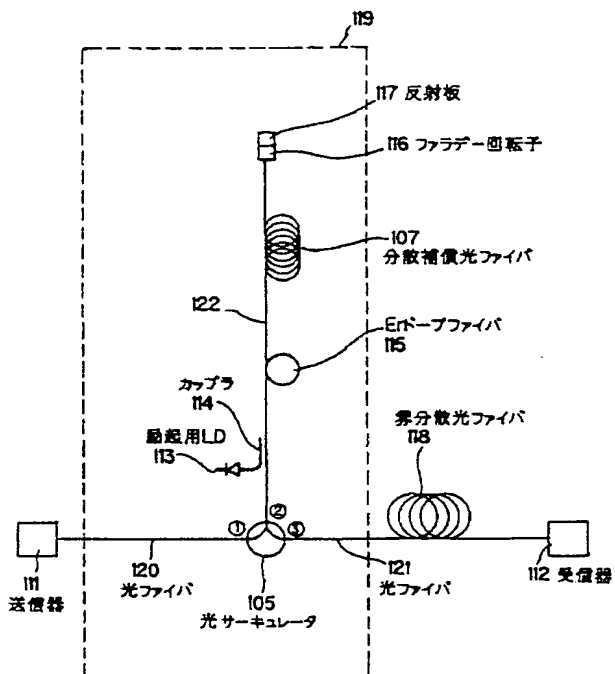
【図17】



【図18】



【図19】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

H 0 4 B 10/02

10/18